

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **11231151 A**

(43) Date of publication of application: **27 . 08 . 99**

(51) Int. Cl. **G02B 6/08**

(21) Application number: **10029872**

(22) Date of filing: **12 . 02 . 98**

(71) Applicant: **JAPAN SCIENCE & TECHNOLOGY
CORP KONDO HIROMI MIURA
SEIKI**

(72) Inventor: **KONDO HIROMI
MIURA SEIKI
HIRAO KAZUYUKI**

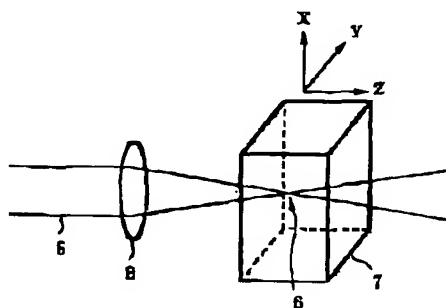
**(54) OPTICAL WAVEGUIDE ARRAY AND ITS
PRODUCTION**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical waveguide array which is formed with a continuous region where a refractive index change and a decrease of intrinsic absorption are induced by condensed irradiation with a pulse laser beam in the inside part of a glass material.

SOLUTION: The interior of the glass material 7 contg. metallic particulates, semiconductor particulates, transition metal ions, rare earth ions, anion, etc., having the intrinsic absorption in a wavelength range longer than 360 nm is condensed and irradiated with the pulse laser beam 5 adjusted in its focal point 6. The change region where the refractive index change and the decrease of the intrinsic absorption of the wavelength region longer than 360 nm are induced is thereby continuously formed in the glass material 7. The change region has the greatly different optical characteristics between the non-condensed and irradiated part and the non-changed region and is, therefore, used as an optical waveguide.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-231151

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月27日

(51) Int. Cl.⁶

G 0 2 B 6/08

識別記号

F I

G 0 2 B 6/08

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平10-29872

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月12日

(71) 出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町 4 丁目 1 番 8 号

(71) 出願人 597118636

近藤 裕己

奈良県奈良市鶴舞西町二丁目28番303号

(71) 出願人 596016476

三浦 清貴

奈良県奈良市朱雀 1 - 13 - 22

(72) 発明者 近藤 裕己

奈良県奈良市鶴舞西町二丁目28番303号

(74) 代理人 弁理士 小倉 亘

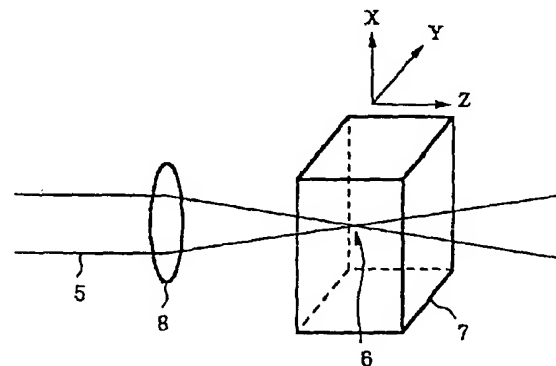
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路アレイ及びその製造方法

(57) 【要約】

【目的】 パルスレーザ光の集光照射により屈折率変化及び固有吸収の減少が生じた連続領域をガラス材料の内部に形成した光導波路アレイを得る。

【構成】 360nmより長い波長領域に固有吸収をもつ金属微粒子、半導体微粒子、遷移金属イオン、希土類イオン、陰イオン等を含むガラス材料7の内部に集光点9を調節したパルスレーザ光5でガラス材料7を集光照射することにより、屈折率変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収の減少が起きた変化領域をガラス材料7の内部に連続的に形成する。変化領域は、非集光照射部の非変化領域との間で光学特性が大きく異なるため、光導波路として使用される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 360nmより長い波長領域に固有吸収がある吸収物質を含むマトリックスをもち、ガラス内部に集光点を調節したパルスレーザー光の集光照射で生じた屈折率の変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収の減少が起きた部分がガラス材料の内部に連続的に形成されていることを特徴とする光導波路アレイ。

【請求項2】 請求項1記載の吸収物質が金属微粒子、半導体微粒子、遷移金属イオン、希土類イオン、陰イオンの1種又は2種以上である光導波路アレイ。

【請求項3】 360nmより長い波長領域に固有吸収がある吸収物質を含むガラス材料の内部に集光点を調節し、屈折率の変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収の減少を起こすエネルギー量を持つパルスレーザー光でガラス材料を集光照射し、ガラス材料の内部で集光点を相対移動させながら、屈折率の変化及び360nmより長い波長領域の吸収係数が減少した連続領域をガラス材料の内部に形成することを特徴とする光導波路アレイの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、材料内部に屈折率の変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収の減少が起きた領域が連続的に形成されている光導波路アレイ及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバを基体にアレイ状に組み込んだ光導波路アレイは、光通信における情報やイメージ情報を伝達する手段として用いられている。光ファイバは、通常、コア部がクラッド部に比べ屈折率が高い構造を持っている。そのため、開口数（NA）に相当する角度未満で光ファイバに入射した光は、コアとクラッドとの界面で全反射を繰り返し、光ファイバの射出側にイメージ情報を伝送する。しかし、開口数（NA）に相当する入射角より大きな角度で光導波路アレイに入射した光は、コアとクラッドで全反射を起こさず、クラッドを透過して隣接する光ファイバに伝達される。クラッドに入射した光も、同様にクラッド・コアを通り抜けて反対側に到達する。その結果、本来伝達されるべき光が伝達されるべきでない部分にまで伝達されてしまうクロストークの問題が現れ、光通信においては情報伝達にエラーが多発したり、イメージ情報の場合には伝送コントラストの低下や伝達イメージ情報の質的低下を引き起こす。光導波路アレイの光ファイバ間に設けた吸光体で漏れ光を除去することにより、クロストークが抑制される（特開平1-180180号公報、特開平3-38963号公報等参照）。この手法に従った光導波路アレイは、たとえば図1に示すように、コア1aの周囲を屈折率の小さなクラッド1b及び吸光体層1cで二重に被覆した光ファイバ1を結束して光ファイバ束2とし、多数の光ファ

イバ束2を個々にベースガラス3等の基材で挟み込んでいる。吸光体層1cで漏れ光が除去されるため、コントラストを上げ高解像度で画質を読み取るイメージセンサが得られる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】吸光体層1cで被覆した光ファイバ1では、ガラスとの密着性が要求されることから、吸光体層1cに使用可能な材料が制約される。また、吸光体層1cの形成や光ファイバ1を束ねて基材3に接着する必要があるため、工程が非常に複雑である。ところで、レーザー光をガラス試料内部に集光照射し、集光部分の屈折率を上昇させることによって、光導波路を作製することが紹介されている（ヨーロッパ特許明細書0797112-A1）。この方法では、たとえば石英ガラスやフッ化物ガラスをレーザー光で集光照射することにより光導波路を作製している。この方法を発展させて光導波路をアレイ状に作製すれば、光導波路アレイが作製されることが予想される。しかし、レーザー光の集光照射により屈折率変化が起こるだけであるため、前述のようにクロストークが問題となり、コントラストが悪く伝達するイメージ情報の質が低下する。本発明は、このような問題を解消すべく案出されたものであり、長波長領域に固有吸収をもつ吸収物質を含むガラス材料の内部をパルスレーザー光で集光照射することにより、屈折率の変化及び長波長領域の固有吸収の減少が起きた連続領域をガラス材料の内部に連続的に形成し、この連続領域を光導波路として使用する光導波路アレイを提供することを目的とする。

【0004】

【課題を解決するための手段】本発明の光導波路アレイは、その目的を達成するため、360nmより長い波長領域に固有吸収がある吸収物質を含むマトリックスをもち、ガラス内部に集光点を調節したパルスレーザー光の集光照射で生じた吸収物質の状態変化による屈折率の変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収の減少が起きた部分がガラス材料の内部に連続的に形成されていることを特徴とする。吸収物質としては、金属微粒子、半導体微粒子、遷移金属イオン、希土類イオン、陰イオンの1種又は2種以上がある。この光導波路アレイは、360nmより長い波長領域に固有吸収がある吸収物質を含むガラス材料の内部に集光点を調節し、屈折率の変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収の減少を起こすエネルギー量を持つパルスレーザー光でガラス材料を集光照射し、ガラス材料の内部で集光点を相対移動させながら、屈折率の変化及び360nmより長い波長領域の吸収係数が減少した連続領域をガラス材料の内部に形成することにより製造される。

【0005】

【作用】長波長領域に固有吸収を持つガラス内部に集光点を設定し、ガラス材料をパルスレーザー光で集光照射す

10

20

30

40

50

るとき、集光点において屈折率が変化すると共に、ガラスの固有吸収の原因となっている吸収物質の状態を変化させる。金属微粒子、半導体微粒子、遷移金属イオン、希土類イオン、陰イオン等の吸収物質は、360nmより長い波長領域に固有吸収がある。パルスレーザ光の集光照射は、分散している金属や半導体微粒子の数、微粒子のサイズ、微粒子の形態等の微粒子分散形態をも変化させる。遷移金属イオン、希土類イオン、陰イオン等においては、イオンの価数、イオンの配位状態、イオンの結合状態等が変化する。

【0006】たとえば、金属微粒子や半導体微粒子を分散させたガラスをパルスレーザ光で集光照射すると、微粒子の数が減少し、微粒子のサイズが小さくなり、微粒子がガラスの中に溶解、或いはイオン化して微粒子として存在しなくなる。微粒子がガラス中に溶解、或いはイオン化して微粒子として存在しなくなると、吸収係数は、微粒子が分散していない媒質と同じ値になり、照射前に比べて減少する。微粒子のサイズが変化する場合には、微粒子のサイズが異なることにより吸収する波長が変化するため、集光照射前に比べて集光照射後の照射波長における吸収係数が減少する。一方、集光部分は、レーザ光の集光照射による構造配列の変化で非集光照射部に比較して屈折率が高くなり、光導波路構造がガラス材料内部に形成される。したがって、イメージ情報等伝達のレーザ光の波長を固有吸収波長領域に設定すると、集光点以外の部分の吸収係数が照射前と同じであるのに対し集光点では吸収係数が減少していることから、光導波路部を伝搬する光は効率よく伝達される。また、光導波路部（集光照射部）から漏れ出た光が非集光照射部で吸収されるので、伝達エラーが防止され、コントラストが上昇し、高解像度でイメージ情報等の画質を読み取ることができる。ガラス材料に分散される金属微粒子には、Au、Cu、Ag、Pt等の微粒子がある。半導体微粒子としては、たとえば、CdS、CdSe、CdTe、CuCl、CuBr、ZnS、ZnSe等の微粒子がある。これら微粒子は、1種又は2種以上を複合してガラス材料に分散される。

【0007】遷移金属イオン、希土類イオン、陰イオン等を含むガラスをパルスレーザ光で集光照射すると、イオンの価数変化、配位状態の変化、結合状態の変化等が生じる。価数変化、配位状態、結合状態等が変化する、照射前にあった固有吸収が消滅又は減少する。一方、パルスレーザ光の集光照射により、非集光照射部に比べて集光照射部の屈折率が高くなった光導波路構造がガラス材料内部に形成されている。そのため、この場合にも光導波路部に沿った効率よい光の伝播や光導波路部（集光照射部）から漏れ出た光の吸収が生じ、伝達エラーが防止され、コントラストが上昇し、高解像度でイメージ情報等の画質を読み取ることが可能になる。遷移金属イオンとしては、Cu²⁺、V³⁺、V⁴⁺、Ti³⁺、Ni

²⁺、Co²⁺、Fe²⁺、Fe³⁺、Mn²⁺、Mn³⁺、Cr³⁺、Cr⁶⁺、Mo⁶⁺等の1種又は2種以上をガラス材料に含ませることができる。希土類イオンとしては、Pr³⁺、Nd³⁺、Sm³⁺、Eu³⁺、Dy³⁺、Ho³⁺、Er³⁺、Tm³⁺、Yb³⁺、Ce³⁺、Sm²⁺、Eu²⁺、Yb²⁺等の1種又は2種以上をガラス材料に含ませることができる。陰イオンとしては、OH⁻、O²⁻、F⁻等の1種又は2種以上をガラス材料に含ませることができる。

【0008】光導波路は、360nmより長い波長領域に固有吸収がある吸収物質を含むガラス内部に集光点を調節したパルスレーザ光でガラス材料を集光照射し、ガラス材料の内部で集光点を相対移動させ、屈折率の変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収の減少が起きた連続領域を形成することにより製造される。この点、波長360nm以下に固有吸収をもつ吸収物質をガラス材料に配合しても、ガラス材料自体の固有吸収が360nm以下である場合もあるため、固有吸収の減少が容易でないことから現実的にも意味がない。しかし、固有吸収ピーク波長が360nm以下であっても360nm以上に吸収のすそがかかっている、当該吸収物質を含まない場合に比べ360nm以上の吸収係数が増大している場合、レーザ光の集光照射によって当該吸収物質の360nm以上の吸収係数の減少が起こるのであれば問題ない。レーザ光としては、ガラスの種類によって異なるが、屈折率の変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収を減少させるエネルギー量を持つレーザ光を利用する。レーザパルス光のピークパワー密度は、1パルス当たりの出力エネルギー（J）をパルス幅（秒）で割ったパワー（単位：ワットW）で表される。ピークパワー密度は、単位面積（cm²）当たりのピークパワー（W/cm²）で表される。

【0009】屈折率の変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収の減少を起こすためには、集光点におけるピークパワー密度が10⁵W/cm²～10¹¹W/cm²であることが望ましい。ピークパワー密度が10⁵W/cm²未満であると、集光照射によっても集光部分で屈折率の変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収に減少が起こりにくくなる。逆にピークパワー密度が10¹¹W/cm²を越えると、集光点以外の部分でも屈折率の変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収の減少が起きてしまう虞れがある。また、過度に大きなエネルギー量のレーザ光を実用的に得ることは困難である。

【0010】レーザ光のピークパワー密度が同じであれば、屈折率の変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収の減少は、レーザ光のパルス幅が狭くなるほど起こり易くなる。この点、パルス幅の狭いレーザ光の使用が好ましく、具体的には10⁻¹¹秒以下のパルス幅をもったレーザ光が望ましい。パルス幅が広すぎると、パルス幅の狭いレーザ光と同じパワー密度を得るためには非

常に大きなエネルギーをもつパルス光の照射が必要になり、ガラス材料が破壊される虞れがある。また、レーザー光の波長をガラスの吸収のある波長に設定すると、ガラス内部に侵入したレーザー光が内部に行くにつれて光強度を低下させる。しかし、光導波路を作製したい部分に所定のピークパワー密度が印加される限り、レーザー光の波長は特に制約されるものではない。

【0011】滑らかな光導波路構造を形成させる上では、パルス間隔を短く、換言すれば繰返し周期を大きくし、第1パルスと第2パルスが可能な限り短時間で加える必要がある。このことから、本発明ではパルスレーザーの繰返し周期を10kHz、好ましくは100kHz以上を設定する。繰返し周期が小さいとレーザー光が離散的に照射され、光導波路の形成に必要な連続的な屈折率変化が得られない。なお、ガラス材料又は集光点の相対移動速度を遅くすることにより、ガラス材料に対して連続的にレーザー光を照射できる。しかし、第1パルス照射後に一定間隔以上の時間をおいて第2パルスが重なった状態で加えられるため、第1パルスで形成された屈折率変化が第2パルスによって再変化し、滑らかな光導波路構造が得られなくなる虞れがある。繰返し周期の上限は、無限大の限りなく連続光に近いものである。しかし、繰返し周期を大きくすると、一般に1パルス当りのエネルギーが弱くなる。そのため、実際にはガラス材料が屈折率変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収の減少を起こす閾値と、使用するレーザーの出力によって繰返し周期の上限が設定される。

【0012】360nmより長い波長領域に固有吸収を持つガラス内部に集光点を設定してレーザー光で集光照射するとき、集光点以外の照射部分では屈折率の変化及び固有吸収原因となっている吸収物質の状態変化を起こすために必要な光量が得られない。したがって、ガラス内部の集光部分にだけ選択的に光誘起屈折率変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収の減少が生じ、非集光照射部では照射前の屈折率及び吸収物質の状態が維持されるため、光導波路構造が形成される。光源から出射されたレーザー光5は、図2に示すように集光点6がガラス材料7の内部に位置するように集光レンズ8等の集光装置で絞られ、ガラス材料7に射出される。集光点6をガラス材料7の内部で相対移動させるとき、屈折率変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収が減少した連続領域がガラス材料7の内部に形成される。具体的には、レーザー光5の集光点6に対しガラス材料7を連続的に移動させ、ガラス材料7の内部で集光点6を連続的に移動させ、或いは両者の組合せにより、集光点6をガラス材料7に対して相対移動させる。

【0013】屈折率変化及び固有吸収減少が生じた領域が連続しているため、光導波路11(図3)として使用される。光導波路11の断面コア径は、集光レンズ6の焦点距離によって調整される。光導波路アレイを作製す

るためには、360nmより長い波長領域に固有吸収を持つガラス材料7を基板として使用し、図3に斜視図(a)及び断面図(b)を示す構造の光導波路アレイを作製する。レーザー光5の集光点6をガラス材料7の内部で相対移動させることにより光導波路を一つ作製する第1工程で、1本目の光導波路11を形成する。光導波路11の作製開始点とは別の部分に集光点6をシフトさせ、1本目の光導波路11と平行に集光点6をガラス材料7の内部で相対移動させる第2工程により、2本目の光導波路12を形成する。このような工程を繰り返すことにより、多数の光導波路11、12・・・が平行になった光導波路アレイ10が形成される。光導波路11、12・・・が形成された部分では、屈折率の変化及び360nmより長い波長領域に固有吸収の減少が起きている。他方、非集光照射部24では、屈折率の変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収の減少が起きている。したがって、光導波路11、12・・・の固有吸収波長領域に波長を設定したイメージ情報等伝達用のレーザー光を入射すると、非集光照射部19の吸収係数が照射前と同じであるのに対し集光点6では吸収係数が減少していることから、光導波路11、12・・・を介して入射光が効率よく伝達され、光導波路11、12・・・から漏れ出た光は非集光照射部19に吸収される。その結果、伝達エラーが防止され、コントラストが高くなり、高解像度で画質を読み取ることができる。

【0014】

【実施例】実施例1：Au微粒子分散ガラスを用いた光導波路アレイ

SiO₂：72重量部、B₂O₃：18重量部、Na₂O：10重量部、Sb₂O₃：4重量部、Au：0.02重量部の組成をもつAu微粒子分散ガラスを作製するため、SiO₂、B₂O₃、Na₂CO₃、Sb₂O₃の原料粉末を秤量・配合し、金原料として塩化金酸の水溶液を加えた。配合粉体400gを容量300ccの白金ルツボに投入し、大気雰囲気1450℃で2時間攪拌しながら加熱溶解した。均一に溶解したガラスを真鍮型に流し込み、厚さ5mmの板に成型し、冷却した。得られたガラスを450℃でアニールし、歪みを除去した。ガラス中にAu微粒子を析出させ暗赤色に着色させるため、電気炉にガラスを装入し、昇温速度5℃/分で昇温し、700℃で8時間保持した後、炉内で放冷した。熱処理後のガラスを切断・研磨し、10mm×10mm×2mmの直方体形状の試料片を切り出した。ガラス試料の透過率スペクトルを測定したところ、580nm以下の波長の光に対する透過率が0%であった。

【0015】次いで、図2に示すように、ガラス試料7の内部に集光点6が位置するように集光レンズ8で絞ったパルスレーザー光5でガラス試料7を集光照射した。XYZ方向に移動可能な電動ステージにガラス試料7を設置し、X軸及びY軸方向を固定した状態でZ軸(光軸)

に沿って集光点6を相対移動させた。パルスレーザー光5には、アルゴンレーザー励起のチタンサファイアレーザーから発振されたパルス幅 1.5×10^{-13} 秒、繰返し周期200kHz、波長800nmで平均出力500mWのパルスレーザー光を使用した。照射後のガラス試料5を観察すると、集光点6の屈折率が0.01だけ上昇していた。屈折率の変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収の減少は、ナノ秒又はピコ秒オーダーのごく短時間で生じた。

【0016】ガラス試料7及び／又は集光点6を連続的にZ軸（光軸）方向に相対移動させることにより、ガラス試料7の内部に直線状の高屈折率領域、すなわち1本目の光導波路11を直線状に形成した。光導波路11の形成如何は、実際に800nmのレーザー光をガラス試料7に入射し、屈折率変化を起こしている部分のみに光が伝播されていることを観測することにより確認できた。また、出射側の近視野像から、光導波路11の断面が直径（コア径）15 μ mであることが判った。光導波路11の透過率スペクトルを測定した結果を示す図6

（a）にみられるように、Au微粒子によって吸収されていた波長帯（約580～400nm）の吸収係数が減少し、赤色着色がなくなった領域が光導波路11として形成されていた。一方、非集光照射部分19では、透過率の変化が検出されなかった。光導波路11のコア径は、集光レンズ8の焦点距離を替えることにより調節できた。また、800nmの波長をもつレーザー光1に替え、他の波長（たとえば、通信波長帯の1.3 μ mや1.55 μ m）をもつレーザー光でガラス試料8を集光照射した場合でも、同様の屈折率変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収の減少が観測された。

【0017】ガラス試料7がレーザー光5で照射されないように遮断した後、ガラス試料7及び／又は集光点6を移動させた。そして、1本目の光導波路11に対して平行にガラス試料7及び／又は集光点6を連続移動させ、1本目の光導波路11と平行な2本目の光導波路12を形成した。この作業を繰り返すことによって、図4に示すように、複数の光導波路11、12・・・が平行に配列され、屈折率変化や固有吸収変化が生じていない非集光照射部19で光導波路11、12・・・が包み込まれた構造をもつ光導波路アレイが作製された。得られた光導波路アレイについて、550nmの波長の光を用いて読出しコントラストを調査したところ、後述する比較例1の屈折率変化だけを利用して作製した光導波路アレイに比較して、著しく高いコントラストであった。

【0018】実施例2：Cu微粒子分散ガラスを用いた光導波路アレイ

SiO₂：72重量部、B₂O₃：20重量部、Na₂O：8重量部、Cu：0.5重量部、SnO：0.25重量部の組成をもつCu微粒子分散ガラスを作製するために、原料粉末としてSiO₂、B₂O₃、Na₂CO₃

、Cu₂O、SnOを秤量・配合した。配合粉末400gを実施例1と同様に加熱溶解して、厚さ6mmの板を得た後、450℃のアニールにより歪みを除去した。次いで、ガラス中にCu微粒子を析出させ赤色に着色させるため、ガラスを電気炉に装入し、昇温速度5℃/分で昇温し、650℃で4時間保持した後、炉内で放冷した。熱処理後のガラスを切断・研磨し、10mm×10mm×4mmのガラス試料を切り出した。ガラス試料の透過率スペクトルを測定したところ、620nm以下の波長の光に対する透過率が0%であった。

【0019】作製されたガラス試料7を実施例1と同様にパルスレーザー光5で集光照射した。照射後のガラス試料7を観察すると、集光点6の屈折率が0.01だけ上昇していた。本実施例でも、ナノ秒又はピコ秒オーダーのごく短時間で屈折率の変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収の減少が生じた。そして、ガラス試料7及び／又は集光点6を連続的にZ軸（光軸）方向に相対移動させることにより、直線状の光導波路11をガラス試料7の内部に形成した。形成された光導波路11は、出射側の近視野像から光導波路の断面が直径（コア径）15 μ mであることが判った。光導波路11の透過率スペクトルを測定した結果を示す図6（b）にみられるように、Cu微粒子によって吸収されていた波長帯（約620～400nmの波長）の吸収係数が減少し、赤色着色がなくなった領域が形成されていた。一方、非集光照射部分19では、透過率の変化が検出されなかった。

【0020】1本目の光導波路11を作製した後、実施例1と同様な手順で2本目以降の光導波路12・・・を形成し、複数の光導波路11、12・・・が平行配置され、当初の屈折率及び固有吸収を維持した非集光照射部19で光導波路11、12・・・が取り囲まれた光導波路アレイを作製した。このようにして、図4に示す構造をもつ光導波路アレイを作製した。530nmの波長の光を用いて光導波路アレイの読出しコントラストを測定したところ、屈折率変化だけを利用した比較例1の光導波路アレイに比較して著しく高い値を示した。

【0021】実施例3：Ag微粒子分散ガラスを用いた光導波路アレイ

SiO₂：72重量部、CaO：20重量部、Na₂O：8重量部、Ag：0.4重量部、SnO：0.2重量部の組成をもつAg微粒子分散ガラスを作製するために、SiO₂、CaCO₃、Na₂CO₃、Ag₂O、SnOの原料粉末を秤量し、配合した。配合粉末400gを容量300ccのPtルツボに入れ、大気雰囲気中1450℃で2時間攪拌しながら加熱溶解した。均一溶解したガラスから実施例1と同様にして、Ag微粒子の析出によって黄色に着色した10mm×10mm×3mmのガラス試料を作製した。Ag微粒子の析出には、電気炉中、昇温速度5℃/分で昇温し、550℃で4時間

保持した後、炉冷する熱処理を採用した。ガラス試料の透過率スペクトルを測定したところ、420nm以下の波長の光に対する透過率が0%であった。

【0022】作製されたガラス試料7に対し、実施例1と同様にパルスレーザ光5で集光照射した。照射後の試験片を観察すると、集光点6の屈折率が0.01だけ上昇していた。また、試料7又は集光点6を連続的に一方方向に相対移動させることにより、ガラス試料7の内部に直線状の光導波路11が形成された。この場合にも、集光点6における屈折率変化及び固有吸収の減少は、ナノ秒又はピコ秒オーダーのごく短時間で生じた。光導波路11の形成如何は、実際に800nmのレーザ光を試験片に入射し、屈折率変化を起こしている部分にのみ光が伝播されていることを観測することにより確認できた。また、出射側の近視野像から、光導波路11は直径(コア径)15μmの断面をもっていた。光導波路部11の透過率スペクトルを測定した結果を示す図6(c)にみられるように、Ag微粒子によって吸収されていた波長帯(約420~360nm)の吸収係数が減少し、黄色着色がなくなった領域が形成されていた。一方、非集光照射部19では、透過率の変化が検出されなかった。次いで、実施例1と同様にして2本目以降の光導波路12...を1本目の光導波路11と平行に形成し、図4に示す構造をもつ光導波路アレイを作製した。420nmの波長の光を用いて光導波路アレイの読出しコントラストを調査したところ、屈折率変化だけを利用した比較例2の光導波路アレイに比べて著しく大きな値であった。

【0023】実施例4：Pt微粒子分散ガラスを用いた光導波路アレイ

SiO₂ : 72重量部, B₂O₃ : 18重量部, Na₂O : 10重量部, Sb₂O₃ : 2重量部, Pt : 0.05重量部, の組成をもつPt微粒子分散ガラスを作製するため、SiO₂, B₂O₃, Na₂CO₃, Sb₂O₃の原料粉末を秤量・配合し、白金原料として塩化白金酸の水溶液を添加した。配合粉末400gを容量300ccのPtルツボに入れ、大気雰囲気1450℃で2時間攪拌しながら加熱溶解した。均一溶解したガラスから実施例1と同様にして、Pt微粒子の析出により灰色に着色した10mm×10mm×4mmのガラス試料を作製した。Pt微粒子の析出には、電気炉中、昇温速度5℃/分で昇温し、600℃で4時間保持した後、炉冷する熱処理を採用した。ガラス試料の透過率スペクトルを測定したところ、750~400nmの可視波長の光に対し、20%と平均的に低い透過率であった。

【0024】作製されたガラス試料7に対し、実施例1と同様にパルスレーザ1で集光照射した。照射後の試験片を観察すると、集光点6の屈折率が0.01だけ上昇していた。また、試料7又は集光点6を連続的に一方方向に相対移動させることにより、ガラス試料7の内部に

直線状の光導波路11が形成された。この場合にも、集光点6における屈折率変化及び固有吸収の減少は、ナノ秒又はピコ秒オーダーのごく短時間で生じた。光導波路11の形成如何は、実際に800nmのレーザ光を試験片に入射し、屈折率変化を起こしている部分にのみ光が伝播されていることを観測することにより確認できた。また、出射側の近視野像から、光導波路11は直径(コア径)15μmの断面をもっていた。光導波路部11の透過率スペクトルを測定したところ、Pt微粒子によって吸収されていた波長帯(約750~400nm)の吸収係数が減少し、灰色着色がなくなった領域が形成されていた。一方、非集光照射部19では、透過率の変化が検出されなかった。次いで、実施例1と同様にして2本目以降の光導波路12...を1本目の光導波路11と平行に形成し、図4に示す構造をもつ光導波路アレイを作製した。600nmの波長の光を用いて光導波路アレイの読出しコントラストを調査したところ、屈折率変化だけを利用した比較例2の光導波路アレイに比べて著しく大きな値であった。

【0025】実施例5：CuCl微粒子分散ガラスを用いた光導波路アレイ

SiO₂ : 65重量部, Al₂O₃ : 6重量部, B₂O₃ : 17重量部, Li₂O : 4重量部, Na₂O : 4重量部, K₂O : 4重量部, CuCl : 0.5重量部, SnO : 0.2重量部の組成をもつCuCl微粒子分散ガラスを作製するため、SiO₂, Al₂O₃, B₂O₃, Li₂CO₃, Na₂CO₃, K₂CO₃, CuCl, SnOの原料粉末を秤量・配合した。配合粉体400gを容量300ccのPtルツボに入れ、大気雰囲気中1450℃で2時間攪拌しながら加熱溶解した。均一溶解したガラスから、実施例1と同様な手順で、10mm×10mm×4mmのガラス試料を作製した。CuCl微粒子の析出には、電気炉中、昇温速度5℃/分で昇温し、550℃で4時間保持した後、炉冷する熱処理を採用した。ガラス試料の透過率スペクトルを測定したところ、380nm以下の波長の光に対する透過率が0%であった。

【0026】作製されたガラス試料7に対し、実施例1と同様にパルスレーザ光5で集光照射した。照射後の試験片を観察すると、集光点6の屈折率が0.01だけ上昇していた。また、試料7又は集光点6を連続的に一方方向に相対移動させることにより、ガラス試料7の内部に直線状の光導波路11が形成された。この場合にも、集光点6における屈折率変化及び固有吸収の減少は、ナノ秒又はピコ秒オーダーのごく短時間で生じた。光導波路11の形成如何は、実際に800nmのレーザ光を試験片に入射し、屈折率変化を起こしている部分にのみ光が伝播されていることを観測することにより確認できた。また、出射側の近視野像から、光導波路11は直径(コア径)15μmの断面をもっていた。光導波路部1

1の透過率スペクトルを測定したところ、CuCl微粒子によって吸収されていた波長帯(約360~380nm)の吸収係数が減少した領域が形成されていた。一方、非集光照射部19では、透過率の変化が検出されなかった。

【0027】また、800nmの波長をもつレーザー光に替え、他の波長(たとえば、第2高調波(SHG)光である400nmや通信波長帯の1.3μmや1.55μm)をもつレーザー光でガラス試料7を集光照射した場合でも、同様の屈折率変化及び360nmより長い波長領域の固有吸収の減少が観測された。次いで、実施例1と同様にして2本目以降の光導波路12・・・を1本目の光導波路11と平行に形成し、図4に示す構造をもつ光導波路アレイを作製した。380nmの波長の光を用いて光導波路アレイの読出しコントラストを調査したところ、屈折率変化だけを利用した比較例3の光導波路アレイに比べて著しく大きな値であった。

【0028】実施例6:Co²⁺イオン含有ガラスを用いた光導波路アレイ

SiO₂:72重量部、B₂O₃:20重量部、Na₂O:8重量部、CoO:0.05重量部の組成をもつCo²⁺イオン含有ガラスを作製するために、SiO₂、B₂O₃、Na₂CO₃、CoOの原料粉末を秤量・配合した。配合粉末400gを容量300ccのPtルツボに入れ、大気雰囲気中1450℃大気中で2時間攪拌しながら加熱溶解した。均一溶解したガラスを真鍮型に流し込んで厚さ6mmの板に成型し、冷却した後、450℃のアニールにより歪みを除去した。次いで、切断、研磨し、10mm×10mm×2mmのガラス試料を切り出した。550~700nmに吸収帯をもつCo²⁺を配合したため、得られたガラス試料の透過スペクトルを測定したところ、550~700nmの光に対する透過率が0%であった。

【0029】作製されたガラス試料7に対し、実施例1と同様にパルスレーザー光5で集光照射した。照射後の試験片を観察すると、集光点6の屈折率が0.01だけ上昇していた。また、試料7又は集光点6を連続的に一方方向に相対移動させることにより、ガラス試料7の内部に直線状の光導波路11が形成された。この場合にも、集光点6における屈折率変化及び固有吸収の減少は、ナノ秒又はピコ秒オーダーのごく短時間で生じた。光導波路11の形成如何は、実際に800nmのレーザー光を試験片に入射し、屈折率変化を起こしている部分にのみ光が伝播されていることを観測することにより確認できた。また、出射側の近視野像から、光導波路11は直径(コア径)15μmの断面をもっていた。光導波路部11の透過率スペクトルを測定したところ、Co²⁺イオンによって吸収されていた波長帯(約700~550nm)の吸収係数が減少し、青色着色がなくなった領域が形成されていた。一方、非集光照射部19では、透過率

の変化が検出されなかった。次いで、実施例1と同様にして2本目以降の光導波路12・・・を1本目の光導波路11と平行に形成し、図4に示す構造をもつ光導波路アレイを作製した。650nmの波長の光を用いて光導波路アレイの読出しコントラストを調査したところ、屈折率変化だけを利用した比較例1の光導波路アレイに比べて著しく大きな値であった。

【0030】実施例7:Ni²⁺イオン含有ガラスを用いた光導波路アレイ

SiO₂:72重量部、B₂O₃:20重量部、Na₂O:8重量部、NiO:0.2重量部の組成をもつNi²⁺イオン含有ガラスを作製するために、SiO₂、B₂O₃、Na₂CO₃、NiOの原料粉末を秤量・配合した。配合粉末400gを容量300ccのPtルツボに入れ、大気雰囲気中1450℃で2時間攪拌しながら加熱溶解した。均一溶解したガラスから、実施例6と同様にして10mm×10mm×5mmのガラス試料を作製した。450~550nmに吸収帯をもつNi²⁺が配合されているため、得られたガラス試料の透過スペクトルを測定したところ、450~550nmの波長の光に対する透過率が0%であった。

【0031】作製されたガラス試料7に対し、実施例1と同様にパルスレーザー光5で集光照射した。照射後の試験片を観察すると、集光点6の屈折率が0.01だけ上昇していた。また、試料7又は集光点6を連続的に一方方向に相対移動させることにより、ガラス試料7の内部に直線状の光導波路11が形成された。この場合にも、集光点6における屈折率変化及び固有吸収の減少は、ナノ秒又はピコ秒オーダーのごく短時間で生じた。光導波路11の形成如何は、実際に800nmのレーザー光を試験片に入射し、屈折率変化を起こしている部分にのみ光が伝播されていることを観測することにより確認できた。また、出射側の近視野像から、光導波路11は直径(コア径)15μmの断面をもっていた。光導波路部11の透過率スペクトルを測定したところ、Ni²⁺イオンによって吸収されていた波長帯(約650~450nm)の吸収係数が減少し、茶色着色がなくなった領域が形成されていた。一方、非集光照射部19では、透過率の変化が検出されなかった。次いで、実施例1と同様にして2本目以降の光導波路12・・・を1本目の光導波路11と平行に形成し、図4に示す構造をもつ光導波路アレイを作製した。550nmの波長の光を用いて光導波路アレイの読出しコントラストを調査したところ、屈折率変化だけを利用した比較例1の光導波路アレイに比べて著しく大きな値であった。

【0032】実施例8:Pr³⁺イオン含有ガラスを用いた光導波路アレイ

ZrF₄:53モル部、BaF₂:20モル部、LaF₃:4モル部、AlF₃:3モル部、NaF:20モル部、PrF₃:1モル部の組成をもつPr³⁺イオン含有

